

03/025

日本国特許庁  
JAPAN PATENT OFFICE

27.06.03

REC'D 18 JUL 2003

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されて  
いる事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出願年月日

Date of Application:

2002年 6月28日

出願番号

Application Number:

特願2002-191099

[ST.10/C]:

[JP2002-191099]

出願人

Applicant(s):

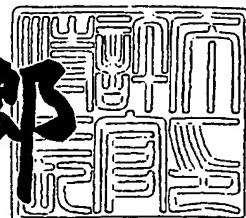
ソニー株式会社

**PRIORITY DOCUMENT**  
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH  
RULE 17.1(a) OR (b)

2003年 4月 4日

特許長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

太田信一郎



出証番号 出証特2003-3023684

【審査類】 特許願  
【整理番号】 0290307502  
【提出日】 平成14年 6月28日  
【あて先】 特許庁長官殿  
【国際特許分類】 G03F 7/20 521  
【発明者】  
【住所又は居所】 東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニー株式会社  
内  
【氏名】 渡辺 陽子  
【発明者】  
【住所又は居所】 東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニー株式会社  
内  
【氏名】 大森 真二  
【発明者】  
【住所又は居所】 東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニー株式会社  
内  
【氏名】 岩瀬 和也  
【発明者】  
【住所又は居所】 神奈川県厚木市中町4-10-2 株式会社フォーラム  
エンジニアリング内  
【氏名】 天井 桂子  
【特許出願人】  
【識別番号】 000002185  
【氏名又は名称】 ソニー株式会社  
【代理人】  
【識別番号】 100094053  
【弁理士】  
【氏名又は名称】 佐藤 隆久

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 014890

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9707389

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 マスクおよびその検査方法

【特許請求の範囲】

【請求項1】

荷電粒子線の透過部と非透過部を有する露光用薄膜と、  
前記露光用薄膜の周囲に形成された、前記薄膜を支持する厚膜部分と、  
荷電粒子線の透過部と非透過部を有し、前記厚膜部分の一部に前記露光用薄膜  
と隔てて形成された、前記露光用薄膜と厚さおよび材質が等しい検査用薄膜とを  
有する

マスク。

【請求項2】

前記非透過部は薄膜であり、前記透過部は前記薄膜に形成された孔である  
請求項1記載のマスク。

【請求項3】

前記透過部は薄膜であり、前記非透過部は前記薄膜上に形成された荷電粒子線  
散乱体である

請求項1記載のマスク。

【請求項4】

前記検査用薄膜は前記露光用薄膜より面積が大きい  
請求項1記載のマスク。

【請求項5】

前記検査用薄膜は線幅が互いに異なる前記透過部を有する  
請求項1記載のマスク。

【請求項6】

前記検査用薄膜は間隔が互いに異なる前記透過部を有する  
請求項1記載のマスク。

【請求項7】

前記検査用薄膜は、前記露光用薄膜の前記透過部より線幅が狭い透過部を含む  
請求項1記載のマスク。

【請求項8】

前記検査用薄膜は、前記露光用薄膜の前記透過部より間隔が狭い透過部を含む請求項1記載のマスク。

【請求項9】

荷電粒子線の透過部と非透過部を所定のパターンで有する露光用薄膜と、前記露光用薄膜の周囲に形成された、前記薄膜を支持する厚膜部分とを有するマスクの製造時または使用時にマスクを検査する方法であって、

荷電粒子線の透過部と非透過部を有し、前記厚膜部分の一部に前記露光用薄膜と隔てて形成された、前記露光用薄膜と厚さおよび材質が等しい検査用薄膜において検査を行う工程を含む

マスクの検査方法。

【請求項10】

前記検査用薄膜における検査は破壊的検査を含む

請求項9記載のマスクの検査方法。

【請求項11】

前記検査用薄膜における検査はバルジ法による内部応力測定を含む

請求項9記載のマスクの検査方法。

【請求項12】

前記透過部は前記露光用薄膜および前記検査用薄膜に同一のエッチング工程で形成された孔であり、

前記検査を行う工程は、前記検査用薄膜の前記非透過部の一部に集束イオンビームを照射して、集束イオンビームの照射箇所を切断する工程と、

切断面を電子顕微鏡で観察し、エッチング断面形状を評価する工程とを有する請求項9記載のマスクの検査方法。

【請求項13】

前記検査用薄膜に線幅および／または間隔の異なる前記透過部を形成しておき、エッチングの線幅均一性をさらに検討する

請求項12記載のマスクの検査方法。

【請求項14】

前記検査用薄膜を互いに異なる複数箇所に形成しておき、エッチングの面内均一性をさらに検討する

請求項12記載のマスクの検査方法。

【請求項15】

前記透過部は前記露光用薄膜および前記検査用薄膜に同一のエッチング工程で形成された孔であり、

前記検査用薄膜に線幅および／または間隔の異なる前記透過部を形成しておき、実際に形成された孔を検査用薄膜の設計データと比較したときの線幅変換およびコーナーラウンディングを求める工程と、

前記検査用薄膜で求められた線幅変換およびコーナーラウンディングを用いて、前記露光用薄膜に実際に形成された孔のパターンを補正する工程と、

補正されたデータと露光用薄膜の設計データを参照して、露光用薄膜のパターンの欠陥を検出する工程とを有する

請求項9記載のマスクの検査方法。

【請求項16】

前記露光用薄膜で検出されたパターンの欠陥に集束イオンビームを照射して、欠陥を修正する工程をさらに有し、

集束イオンビームの光軸調整を、前記検査用薄膜に集束イオンビームを照射して行う

請求項15記載のマスクの検査方法。

【請求項17】

前記検査用薄膜に線幅および／または間隔の異なる前記透過部を形成しておき、洗浄後のパターンの変化の有無を前記検査用薄膜において確認する工程を有する

請求項9記載のマスクの検査方法。

【請求項18】

前記検査用薄膜に線幅および／または間隔の異なる前記透過部を形成しておき、洗浄後にマスク上に残存する異物を前記検査用薄膜において確認する工程を有する

請求項9記載のマスクの検査方法。

【請求項19】

前記検査用薄膜に線幅および／または間隔の異なる前記透過部を形成しておき、露光時に前記露光用薄膜に汚染物質が堆積して、パターンの線幅が変動する影響を、前記検査用薄膜において確認する工程を有する

請求項9記載のマスクの検査方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、半導体装置製造におけるリソグラフィ工程で用いられるマスクおよびその検査方法に関する。

【0002】

【従来の技術】

フォトリソグラフィに代わる次世代の露光技術として、電子線やイオンビームという荷電粒子を用いた転写型の露光方法が開発されている。これらの新しい技術では共通に、薄膜領域（メンブレン）を有するマスクが用いられる。マスク表面側のメンブレンは厚さ100nmから10μm程度であり、メンブレンに転写パターンが配置される。メンブレンは、例えばシリコンウェハーを含むマスク材料を、マスク裏面側から部分的にエッチングして形成され、エッチングされない部分のマスクブランクスがメンブレンの支持部となる。

【0003】

メンブレン自体に孔を設けることにより転写パターンが形成されるものはステンシルマスク（例えば：H. C. Pfeiffer, Jpn. J. Appl. Phys. 34, 6658 (1995) 参照）と呼ばれる。また、メンブレンに積層された金属薄膜等の散乱体を加工して転写パターンが形成されるものは散乱メンブレンマスク（例えば：L. R. Harriott, J. Vac. Sci. Technol. B 15, 2130 (1997) 参照）と呼ばれる。

【0004】

転写型のリソグラフィには、マスクを透過した荷電粒子線を電子／イオン光学系により縮小投影する方式のもの（Lucent Technologies の SCALPEL、I

BMのPREVAIL、ニコンのEBステッパーおよびイオンビーム転写リソグラフィ等)と、マスク直下に近接させたウェハーに電子/イオン光学系を介さずに転写する方式のもの(リープル、東京精密によるLEEPIL等)がある。

#### 【0005】

いずれの方式においても、パターン位置精度の高いマスクを作製することがきわめて重要である。なお、SCALPELはscattering with angular limitation in projection electron-beam lithographyの略称、PREVAILはprojection exposure with variable axis immersion lensesの略称、LEEPILはlow-energy e-beam proximity lithographyの略称である。

#### 【0006】

これらのマスクの製造方法には様々なバリエーションがあり得るが、ステンシルマスクと散乱メンブレンマスクの典型的な製造フローを説明する。ステンシルマスクの場合、まず、図7(a)に示すように、SOIウェハー101の裏面にシリコン酸化膜102を形成する。SOI(silicon on insulatorまたはsemiconductor on insulator)ウェハー101はシリコンウェハー103上にシリコン酸化膜(埋め込み酸化膜)104を介してシリコン層105を有する。図示しないが、シリコン酸化膜102にエッチングを行う。

#### 【0007】

次に、図7(b)に示すように、SOIウェハー101の裏面側からシリコンウェハー103にエッチングを行う。このエッチングは、シリコン酸化膜102をマスクとして、シリコン酸化膜104に達するまで行う。シリコンと酸化シリコンのエッチング速度は数桁以上異なるため、シリコン酸化膜104およびシリコン酸化膜102に対して選択的にシリコンウェハー103がエッチングされる。エッチングはシリコン酸化膜104で停止する。

#### 【0008】

次に、図7(c)に示すように、シリコンウェハー103のエッチングにより露出した部分のシリコン酸化膜104を除去する。これにより、シリコンからなるメンブレン106が形成される。メンブレン106を区分する部分のシリコンウェハー103は梁107となり、メンブレン106を支持する。シリコン酸化

膜104は、例えばフッ化水素酸を用いたウェットエッチングにより除去される。また、このエッチングによりシリコン酸化膜102も除去される。図示しないが、SOIウェハー101の縁近傍にはメンブレン106や梁107が形成されず、この部分に残るシリコンウェハーはマスクの支持棒として用いられる。

## 【0009】

次に、図8(d)に示すように、メンブレン106を含むシリコン層105上にレジスト108を塗布する。次に、図8(e)に示すように、レジスト108にマスクパターンを描画して、レジスト108を現像する。マスクパターンの描画には電子線描画機を用いる。

## 【0010】

次に、図8(f)に示すように、レジスト108をマスクとしてシリコン層105にエッチングを行い、転写パターンで孔109を形成する。その後、レジスト108を除去することにより、ステンシルマスク110が形成される。荷電粒子線はステンシルマスク110の裏面側(梁107側)から照射され、孔109を透過する荷電粒子線によりウェハーにパターンが転写される。LEEP Lのような等倍露光方式では、メンブレン106とウェハーが近接するように配置される。

## 【0011】

一方、散乱メンブレンマスクを作製する場合、まず、図9(a)に示すように、シリコンウェハー111の両面にシリコン窒化膜112a、112bを例えば化学気相成長(CVD; chemical vapor deposition)で形成する。マスク表面側のシリコン窒化膜112aはメンブレン材料となり、マスク裏面側のシリコン窒化膜112bはシリコンウェハー111のエッチングマスクとなる。

## 【0012】

シリコン窒化膜112a上に例えばクロム層113を介してタングステン層114を形成する。クロム層113はタングステン層114にエッチングを行うときのエッチングストッパー層となり、タングステン層114は荷電粒子線の散乱体となる。

## 【0013】

次に、図9（b）に示すように、マスク裏面側のシリコン窒化膜112bにエッチングを行い、メンブレン形成領域のシリコン窒化膜112bを除去する。次に、図9（c）に示すように、タンゲステン層114上にレジスト115を塗布する。

#### 【0014】

次に、図10（d）に示すように、シリコン窒化膜112bをマスクとしてシリコンウェハー111にエッチングを行い、梁116を形成する。次に、図10（e）に示すように、レジスト115にマスクパターンを描画して、レジスト115を現像する。マスクパターンの描画には電子線描画機を用いる。

#### 【0015】

次に、図10（f）に示すように、レジスト115をマスクとしてタンゲステン層114にエッチングを行い、レジスト115を除去する。さらに、タンゲステン層114をマスクとしてクロム層113にエッチングを行うことにより、シリコン窒化膜112aからなるメンブレン117上に転写パターンが形成され、散乱メンブレンマスク118が形成される。

#### 【0016】

形成された散乱メンブレンマスク118には裏面側（梁116側）から荷電粒子線が照射され、散乱体（タンゲステン層114）以外の部分のメンブレン117を透過する荷電粒子線によりウェハーにパターンが転写される。

#### 【0017】

図11はステンシルマスクの一例を示す平面図である。図11に示すように、梁107によって区分されたメンブレン106が、シリコンウェハー103（支持棒）の中央部に配置されている。なお、太い梁107aは梁107と幅のみ異なり、断面構造は梁107と共に通する。

#### 【0018】

##### 【発明が解決しようとする課題】

上記のようなステンシルマスクや散乱メンブレンマスクを用いてウェハー上に所望のパターンを正確に露光するには、マスクの製造時あるいは使用時に、以下の各条件が満たされる必要がある。

## 【0019】

これらの条件として、まず、メンブレンの内部応力を適切に制御することが挙げられる。メンブレンの内部応力が適切に制御されていない場合、メンブレンが撓み、パターンの位置ずれや歪みの原因となる。また、ステンシルマスクの場合、孔の部分で内部応力がゼロとなるため、パターンによってはメンブレンの一部で応力集中が起こり、メンブレンが破損する可能性もある。

## 【0020】

他の条件としては、マスクにパターンを形成するとき、垂直性の高い正確なエッチングを行うことが挙げられる。ステンシルマスクの孔や散乱メンブレンマスクの散乱体の壁面が垂直でない場合、露光に用いる電子線等が壁面で散乱する。また、壁面が垂直に加工されていないと、壁面近傍でマスクの厚さが一様とならず、孔以外の部分を電子線等が透過する可能性も生じる。したがって、パターンが正確に転写されない。同様な理由から、エッチングの線幅均一性や面内均一性を向上させる必要もある。

## 【0021】

他の条件として、正確かつ迅速な欠陥検査を行うことも挙げられる。また、欠陥検査で検出された欠陥を、例えば集束イオンビーム（FIB ; focused ion beam）を用いて正確に修正する必要もある。

## 【0022】

さらに他の条件として、マスクへの異物の付着を防止することも挙げられる。マスクには製造過程および使用前に複数回の洗浄が行われるが、これらの洗浄工程で、マスクの微細パターンを破壊せずにマスクを洗浄する必要がある。また、マスクに洗浄を行うだけでなく、露光装置内の異物を制御したり、露光による汚染物の堆積を検出したりする必要もある。

## 【0023】

以上の各条件が満たされているかを確認するための検査の中には、マスクパターンを破壊しなければならないものや、マスクパターンを破壊する恐れのあるものも存在する。したがって、従来、実際に露光に使用されるマスクについては、これらの検査ができなかった。マスクパターンの破壊を伴う検査を行うには、検

査用の模擬マスク（ダミーマスク）を実際に使用されるマスクと同一の条件で作製する必要があり、コストの増大が問題となっていた。

【0024】

本発明は上記の問題点に鑑みてなされたものであり、したがって本発明は、検査用マスクを作製せずに破壊的検査を行うことや、非破壊検査をより正確に行うことが可能となるマスクおよびその検査方法を提供することを目的とする。

【0025】

【課題を解決するための手段】

上記の目的を達成するため、本発明のマスクは、荷電粒子線の透過部と非透過部を有する露光用薄膜と、前記露光用薄膜の周囲に形成された、前記薄膜を支持する厚膜部分と、荷電粒子線の透過部と非透過部を有し、前記厚膜部分の一部に前記露光用薄膜と隔てて形成された、前記露光用薄膜と厚さおよび材質が等しい検査用薄膜とを有することを特徴とする。

【0026】

好適には、前記非透過部は薄膜であり、前記透過部は前記薄膜に形成された孔である。あるいは、前記透過部は薄膜であり、前記非透過部は前記薄膜上に形成された荷電粒子線散乱体である。

前記検査用薄膜は前記露光用薄膜より面積が大きくてよい。前記検査用薄膜は線幅および／または間隔が互いに異なる前記透過部を有してもよい。前記検査用薄膜は、前記露光用薄膜の前記透過部より線幅および／または間隔が狭い透過部を含んでもよい。

【0027】

上記の目的を達成するため、本発明のマスクの検査方法は、荷電粒子線の透過部と非透過部を所定のパターンで有する露光用薄膜と、前記露光用薄膜の周囲に形成された、前記薄膜を支持する厚膜部分とを有するマスクの製造時または使用時にマスクを検査する方法であって、荷電粒子線の透過部と非透過部を有し、前記厚膜部分の一部に前記露光用薄膜と隔てて形成された、前記露光用薄膜と厚さおよび材質が等しい検査用薄膜において検査を行う工程を含むことを特徴とする。

【0028】

前記検査用薄膜における検査は破壊的検査であってもよい。前記検査用薄膜における検査はバルジ法による内部応力測定を含む。

好適には、前記透過部は前記露光用薄膜および前記検査用薄膜に同一のエッチング工程で形成された孔であり、前記検査を行う工程は、前記検査用薄膜の前記非透過部の一部に集束イオンビームを照射して、集束イオンビームの照射箇所を切断する工程と、切断面を電子顕微鏡で観察し、エッチング断面形状を評価する工程とを有する。前記検査用薄膜に線幅および／または間隔の異なる前記透過部を形成しておき、エッチングの線幅均一性をさらに検討する。あるいは、前記検査用薄膜を互いに異なる複数箇所に形成しておき、エッチングの面内均一性をさらに検討する。

【0029】

好適には、前記透過部は前記露光用薄膜および前記検査用薄膜に同一のエッチング工程で形成された孔であり、前記検査用薄膜に線幅および／または間隔の異なる前記透過部を形成しておき、実際に形成された孔を検査用薄膜の設計データと比較したときの線幅変換およびコーナーラウンディングを求める工程と、前記検査用薄膜で求められた線幅変換およびコーナーラウンディングを用いて、前記露光用薄膜に実際に形成された孔のパターンを補正する工程と、補正されたデータと露光用薄膜の設計データを参照して、露光用薄膜のパターンの欠陥を検出する工程とを有する。

【0030】

好適には、前記露光用薄膜で検出されたパターンの欠陥に集束イオンビームを照射して、欠陥を修正する工程をさらに有し、集束イオンビームの光軸調整を、前記検査用薄膜に集束イオンビームを照射して行う。

好適には、前記検査用薄膜に線幅および／または間隔の異なる前記透過部を形成しておき、洗浄後のパターンの変化の有無、あるいは洗浄後にマスク上に残存する異物を前記検査用薄膜において確認する工程を有する。

好適には、前記検査用薄膜に線幅および／または間隔の異なる前記透過部を形成しておき、露光時に前記露光用薄膜に汚染物質が堆積して、パターンの線幅が

変動する影響を、前記検査用薄膜において確認する工程を有する。

【0031】

これにより、パターンの破壊を伴う検査であっても、露光に用いるマスクで行なうことが可能となる。また、実際の露光に用いる透過部と同一の工程で形成された透過部について検査を行うことが可能となるため、露光に用いられる透過部の状態をより正確に評価することが可能となる。

【0032】

【発明の実施の形態】

以下に、本発明のマスクおよびその検査方法の実施の形態について、図面を参考して説明する。

図1は本実施形態のステンシルマスクの一例を示す平面図である。図1に示すように、梁1によって区分されたメンブレン2が、シリコンウェハー3（支持枠）の中央部に配置されている。太い梁1aは梁1と幅のみ異なり、断面構造は梁1と共通する。

【0033】

本実施形態のステンシルマスクは、実際の露光に用いられない領域（露光時に荷電粒子線が照射されない領域）に小区画の検査用メンブレン4が形成されている。検査用メンブレン4は、実際の露光に用いられるメンブレン2と同一の工程で形成される。検査用メンブレン4には、メンブレン2に所定のパターンで孔を形成するのと同一の工程で、検査用パターンとして孔が形成される。検査用メンブレン4を区分する梁5は、露光用メンブレン2を区分する梁1と同様の断面構造を有する。

【0034】

（実施形態1）

本実施形態は、本発明のマスクを用いたメンブレンの内部応力モニター方法に関する。ステンシルマスクを構成するメンブレンの内部応力を測定する方法としては、（1）メンブレンの撓みを観測し、撓み量に基づいて内部応力を算出する方法と、（2）内部応力を直接測定する方法の2通りが考えられる。

【0035】

ステンシルマスクにおいてメンブレンの内部応力が適切に調整されていない場合、メンブレンが撓み、パターンの位置精度が低下する。あるいは、LEEP Lのような近接露光方式では、メンブレンの撓みが大きくなるとメンブレンとウェハーが接触し、マスクが破壊される可能性もある。

#### 【0036】

そこで、図1に示す検査用メンブレン4を用いて、メンブレンの撓み量を実測する（上記（1）の方法）。この測定を、マスクプランクス完成時点（シリコンウェハーの一部を除去してメンブレンと梁が形成された後であって、メンブレンに孔を形成する前の時点、図7（c）参照）で行い、次の工程に進むかどうか判断すれば、内部応力の調整が不十分なマスクプランクスを排除できる。検査用メンブレン4の撓み量の測定には、例えばレーザ光を用いた高さ測定器を使用できる。

#### 【0037】

メンブレンの撓み量は非破壊でも測定可能であることから、破壊的検査が前提となる検査に比較すると、検査用メンブレンを設ける利点は少ない。しかしながら、例えば、実際の露光用のメンブレン2よりも面積の大きい検査用メンブレン4を形成すれば、撓み量が大きくなるため、撓みの観測が容易となる。あるいは、メンブレン中心部の撓み量を正確に測定できるように、メンブレン中心部にアライメントマークを設けてもよい。

#### 【0038】

マスクプランクスが完成した時点でメンブレンの撓み量が許容範囲であっても、その後の工程でメンブレンに孔を形成すると、メンブレンの撓み量が大きくなることがある。したがって、マスクプランクスの完成時のみでなく、マスクを露光装置に導入する直前にも、検査用メンブレン4を用いた撓み量の測定を行うことが望ましい。

#### 【0039】

LEEP Lのような近接露光方式の場合、マスクはギャップセンサを通過し、ギャップセンサによってマスクとウェハーの間隔が測定されてから、マスクが電子線鏡筒直下に設置される。マスクは一端からギャップセンサを通過するため、

マスクの外周寄りに設けられている検査用メンブレン4が、実際の露光用のメンブレン2よりも先にギャップセンサを通過するようにすれば、実際の露光用のメンブレン2とウェハーが接触する危険性を察知および回避できる。

## 【0040】

メンブレンの撓み量が大きく、ギャップセンサによりマスクとウェハーの間隔が許容できない程度に狭いと判定された場合は、マスクを不良とするか、露光装置外に搬出したマスクに、再度メンブレンの応力調整を行い、撓み量を小さくする。あるいは、露光精度が許容範囲であれば、マスクとウェハーの間隔を広げるよう露光装置の設定を変更してから、マスクを電子線鏡筒直下に設置し直してもよい。

## 【0041】

メンブレンの内部応力を直接測定する場合（上記（2）の方法）、気圧や高周波を用いてメンブレンを強制的に変形させ、メンブレンへの荷重とメンブレンの変形量との関係から、内部応力を求める（「マイクロマシーニングとマイクロメカトロニクス」培風館 江刺正喜ら、参照）。メンブレンを強制的に変形せる場合、メンブレンが破損したりパターンが不可逆的に変位したりする可能性がある。

## 【0042】

そこで、従来は露光用のマスクではこのような測定を行わず、露光用のマスクと同一の条件で作製されたダミーマスクで内部応力が測定されていた。あるいは、メンブレンにイオン打ち込みを行うと、メンブレンの内部応力が変化することから、ダミーマスクにイオン打ち込み等による応力調整を施し、内部応力が最適化される条件を予め検討しておき、実際の露光用マスクでは同様の応力調整のみが行われていた。

## 【0043】

以上のように、実際の露光用マスクでは内部応力の測定が行われず、ダミーマスクや内部応力の異なる複数の試料が作製されていたため、マスクの製造コストやターンアラウンドタイム（TAT）が増大する要因となっていた。さらに、応力を調整するためのイオン打ち込み等のプロセス安定性によっては、所望の応力

調整ができず、マスクの歩留りが低下する可能性もあった。

#### 【0044】

本実施形態のマスクによれば、検査用メンブレンを用いてメンブレンの内部応力を直接測定することが可能である。メンブレンの内部応力はバルジ法により直接測定できる。図2にバルジ法の概略図を示す。バルジ法による薄膜の内部応力測定方法は、特開平1-237430号公報や特開2000-329669号公報に開示されている。

#### 【0045】

図2に示すように、マスク11は中空の試料ホルダ12に固定される。試料ホルダ12の内部は真空ポンプ13によって排気される。試料ホルダ12内の真空度は圧力センサ14でモニターされ、バルブ15の調整により所望の真空度に制御される。

#### 【0046】

図2に示す装置の場合、メンブレン16の変形が、光学ガラス17とメンブレン16間のギャップで生じる光の干渉縞の数によって計測される。光源としては例えばHe-Neレーザ18が用いられ、シングルモード光ファイバ19によって顕微鏡20内にレーザ光が導入される。

#### 【0047】

顕微鏡20内のハーフミラー21でレーザ光が反射され、このレーザ光が光学ガラス17およびメンブレン16に照射される。光の干渉縞はCCDカメラ22で撮像され、TVモニタ23およびコンピュータ24に送られる。コンピュータ24によりレーザ照射位置のX-Yモニタ25、圧力センサ14、バルブ15および真空ポンプ13が制御される。

#### 【0048】

メンブレン16を変形させる方法としては、図2に示すように真空ポンプ13を用いる以外に、メンブレンの下方に配置した電極とメンブレンとの間に作用する静電気力を用いる方法等もあるが、真空ポンプを用いる方法が一般に簡便である。上記のような装置を用いて、メンブレンの内部応力を直接測定し、内部応力を適切に制御することにより、メンブレンの撓みによるパターン位置のずれを防

止して、高精度にパターンを露光できる。

#### 【0049】

##### (実施形態2)

本実施形態は、本発明のマスクを用いたパターン断面形状の検査方法に関する。本実施形態では、図1に示すステンシルマスクの検査用メンブレン4に、断面形状の観察に適したパターンを配置しておく。このようなパターンの例を図3に示す。

#### 【0050】

図3(a)は図1の検査用メンブレン4を拡大した図であり、図3(b)は図3(a)の検査用メンブレン4の一部を拡大した図である。図3に示すように、断面形状の観察用パターンとして、例えば $1\text{ }\mu\text{m}$ 角の領域に線幅200nm、ピッチ400nmのラインアンドスペースパターン6を形成する。検査用メンブレン4にラインアンドスペースパターン6で孔を形成する工程は、露光用のメンブレン2に所定のパターンで孔を形成する工程と同一の工程である。

#### 【0051】

次に、検査用メンブレン4の一部にFIBを照射して、パターン6を切断する。ここで、FIBとしては例えばガリウムイオンビームを用いる。

次に、チルト機構を有するステージにステンシルマスクを積載し、FIBによって切断されたメンブレン断面を走査型電子顕微鏡(SEM)により観察する。この時得られたSEM像から、図4に示すパターンのテーパー角θを求めることができる。

#### 【0052】

上記のFIB照射によるパターンの切断から切断面の観察までの工程は、例えばSMI-9800(セイコーインスツルメント(株)製)を用いて、1台の装置で行うことも可能である。このような検査工程は、破壊的検査であるため、露光用のメンブレンで行うことができない。

本発明のマスクを用いれば、ダミーマスクを作製せずに、パターンのテーパー角を高精度で測定できる。したがって、パターンを高精度に露光することが可能となる。また、ダミーマスクを作製するためのコストも増大しない。

## 【0053】

## (実施形態3)

本実施形態は、本発明のマスクを用いた線幅均一性および面内均一性の検査方法に関する。エッティング加工で形成されるパターンの線幅均一性および面内均一性は、パターンの線幅や密度に応じて変化する。エッティング速度がエッティング面積依存性を示し、エッティング面積が増加するほどエッティング速度が低下する現象は、ローディング効果と呼ばれる。

## 【0054】

また、パターンの線幅（孔の径）が縮小されるにしたがって、エッティング速度が低下する現象や、同一の線幅のパターンが異なる密度で存在するときにエッティング速度が均一とならない現象は、マイクロローディング効果と呼ばれる。

ステンシルマスクのメンブレンや散乱メンブレンマスクの荷電粒子線散乱体は、レジストをマスクとするエッティングによって加工される。したがって、上記のようなエッティング工程に起因する線幅のばらつき以外に、レジスト形成工程に起因する線幅のばらつきもある。

## 【0055】

線幅が同一でパターン間隔が異なるレジストパターンを形成すると、パターン間隔に応じてレジスト線幅は変動し、線幅の変化量や面内均一性もレジスト線幅に依存して変化する。また、線幅やパターン間隔に応じてレジストのパターンエッジラフネスは変化するため、エッティングによりパターンエッジラフネスが引き継がれるメンブレンにおいても、パターンエッジラフネスは均一とならない。

## 【0056】

以上のようなパターンエッジラフネスや、ローディング効果またはマイクロローディング効果の影響が許容範囲内にあるか調べるには、例えば実施形態2と同様にSEM観察を行う。本発明のマスクの検査用メンブレン4に、線幅やパターン間隔を変化させたラインアンドスペースを形成しておく。エッティング加工前のレジスト線幅や、エッティング後のパターン線幅をSEM等で測定すれば、線幅均一性や面内均一性を検査できる。

また、検査用メンブレン4を露光用のメンブレン2以外の複数箇所に設け、

複数の検査用メンブレン4に同様の検査用パターンを形成すれば、マスク面内のCD(critical dimension)分布をモニターできる。

## 【0057】

## (実施形態4)

本実施形態は、本発明のマスクで欠陥検査を行うときの参照画像作成に関する。マスクの欠陥検査には、隣接するチップを比較する方式(die-to-die方式)と、マスクパターンを設計データと比較する方式(die-to-database方式またはDB方式)がある。die-to-die方式では、比較するチップに同じ形状の欠陥があつたときに検出できないが、die-to-database方式ではそのような問題が起きないことから、一般的にdie-to-database方式で検査が行われることが多い。

## 【0058】

欠陥検査では、検査装置の光学系を用いてマスク上のパターンから参照画像を作成する。一方、設計データからも参照画像を作成し、これらの参照画像を比較して、欠陥が検出される。実際のマスクでは、描画装置によるレジストパターンの形成、エッチングおよびレジストの除去を経てパターンが形成されるため、設計データと完全に一致するパターンは得られない。具体的には、パターンの線幅が変動したり、コーナーラウンディングが起こったりする。

## 【0059】

図5に、パターン形成後の線幅変動およびコーナーラウンディングの例を示す。図5(a)は設計データであり、線幅Lのラインアンドスペースパターンである。図5(b)は図5(a)の設計データに基づいてマスク上に形成されたパターンの例である。図5(b)での線幅は $L \pm \Delta L$ であり、パターンのコーナーは曲率半径Rの曲線となる。

## 【0060】

die-to-database方式による検査では、線幅の変動やコーナーラウンディングによる設計データとマスク上パターンの不一致については許容する一方で、問題となる欠陥を検出する必要がある。したがって、検査装置の光学系で得られるマスクの画像に、線幅の変動やコーナーラウンディングについての補正を加え、設計データの参照画像に近い参照画像が作成される。

## 【0061】

このとき、線幅の変動やコーナーラウンディングを補正するパラメータ値が正確であれば、設計データの参照画像に近い参照画像が得られるため、参照画像の比較を高速で行うことや、欠陥を高精度に検出することが可能である。そこで、検査用メンブレンに線幅や密度の異なるラインアンドスペース等を形成しておき、これらの線幅変動や断面形状等を、例えば実施形態2と同様によりSEMを用いて測定する。

## 【0062】

このような破壊的検査でなく、非破壊で線幅変動やコーナーラウンディングの測定を行ってもよい。検査用メンブレンでの線幅の変動やコーナーラウンディングに基づき、参照画像作成用のパラメータ値を設定すれば、ダミーマスクを作成するコストや労力が不要となるだけでなく、実際の露光用のメンブレンと同一のプロセスで作製されたメンブレンでのパラメータ値を利用できるため、パラメータ値を高精度に最適化できる。したがって、参照画像の比較をより短時間で行い、欠陥を高精度に検出することが可能となる。

## 【0063】

## (実施形態5)

本実施形態は、FIBを用いた欠陥修正に本発明のマスクを利用する例である。まず、図1に示すステンシルマスクの検査用メンブレン4に、図6に示すようなパターンを配置しておく。図6に示すように、1辺が $10\text{ }\mu\text{m}$ の正方形のパターンを、 $10\text{ }\mu\text{m}$ の間隔で $3\times 3$ の行列状に配置する。検査用メンブレン4のパターンは、露光用のメンブレン2のパターンと同一の工程で形成される。

## 【0064】

マスクの作製後、欠陥検査で検出された欠陥は、FIBを照射して修正される。欠陥には黒欠陥と白欠陥の2種類があり、黒欠陥は孔となるべきパターン部分にメンブレン（散乱メンブレンマスクの場合は荷電粒子線散乱体）が残る欠陥である。黒欠陥は、レジストパターン以外に異物等が付着し、エッチングされるべきパターンがエッチングされずに残って発生する。一方、白欠陥はパターン以外に孔が形成される欠陥である。白欠陥は、レジストパターンが欠けたりして、残

されるべきパターンが誤ってエッチングされることにより発生する。

#### 【0065】

一般に、黒欠陥はガリウムイオンビームによる加工（ミリング）、あるいは試料上にガスを噴出させ効率的にエッチングを行うガスアシストエッチング（GASE）により修正される。また、白欠陥はピレン等の有機物ガス雰囲気中でガリウムイオンビームを照射することにより、照射位置に炭素の薄膜を形成して修正される。

#### 【0066】

欠陥箇所にイオンビームを照射して修正を行う前には、イオンビームの光軸調整、具体的には焦点合わせや非点収差調整が行われる。この光軸調整は、イオンビームをマスクに照射したときに放出される2次イオン（または2次電子）を検出して行われる。しかしながら、マスク中のガリウムイオンの残留量は最小限とすることが望ましい。

#### 【0067】

例えば、電子線リソグラフィに用いられるステンシルマスクのメンブレン材料がシリコンである場合、ガリウム等の残留金属が存在すると、異種物質同士の接触による接触電位差が生じる可能性がある。電子線リソグラフィでマスクが帶電すると、後から入射する電子の位置がずれることがある（チャージアップ）。ガリウムの残留による接触電位差は、チャージアップが起きる要因となるため、露光用のメンブレンへのガリウムイオンビームの照射量は最小限に抑えられる。

#### 【0068】

本発明のマスクで欠陥修正を行う場合、検査用メンブレンに形成された図6に示すようなパターンを用いて、光軸調整を行う。図6に示すパターンにガリウムイオンビームを照射して、得られる2次イオン像のエッジが明瞭となるように調整を行う。その後、マスクのステージを移動させ、ガリウムイオンビームを欠陥箇所に照射して修正を行う。

#### 【0069】

以上のように、露光用のメンブレンと別に設けられた検査用メンブレンでイオンビームの光軸調整を行うことにより、露光用のメンブレンでのガリウム残留量

を低減することが可能となる。これにより、マスクを露光に用いるときのチャージアップが防止され、マスクパターンがウェハー上に正確に転写される。

## 【0070】

## (実施形態6)

本実施形態は、洗浄によるマスクのダメージのモニター方法に関する。LEEP Lのような等倍ステンシルマスクでは、極めて薄いメンブレンに微細パターンが等倍で形成されるため、洗浄時の物理的衝撃によりパターンがダメージを受けたり、薬液によりメンブレン表面の荒れが顕著となったりしやすい。

## 【0071】

フォトマスクの場合、露光に影響を及ぼすような異物や汚染は、保護膜であるペリクルによって低減できるが、LEEP Lのように低加速電子を用いるリソグラフィでは、孔以外の部分で電子線が遮断されるため、ペリクルに相当する保護膜を設けることができない。したがって、露光時にも汚染しやすく、マスクの製造時だけでなく、使用時にも洗浄が必要となる可能性がある。

## 【0072】

図1のステンシルマスクで検査用メンブレン4に、実際のデバイスパターンのうち最も線幅および間隔が微細なパターンと同等か、それ以上に微細なラインアンドスペースパターンを配置しておく。このようなパターンは洗浄によるダメージを受けやすいため、洗浄によるダメージの蓄積をモニターするのに用いる。ダメージは例えばSEMを用いて観察する。検査用メンブレン4では、破壊的検査を行うことも可能であり、ダメージを正確に把握して、マスク廃棄のタイミングを正確に見極めることができる。

## 【0073】

## (実施形態7)

本実施形態は、マスクの汚染のモニター方法に関する。低加速電子リソグラフィ用のステンシルマスクにはペリクルのような保護膜を設けることができないため、マスク使用時のハンドリングによって、露光に支障をきたすような異物がマスクに付着する可能性がある。しかしながら、露光に用いる領域全体で詳細な異物検査を行うのは、膨大な時間がかかるため現実的ではない。

## 【0074】

そこで、図1に示す検査用メンブレン4を利用して、詳細な検査を行い、この結果に基づいて露光用のメンブレン2の汚染状況を推定する。検査用メンブレン4には、線幅や間隔を変えたラインアンドスペースパターン等を形成しておく。検査用メンブレン4についてSEM式欠陥検査装置等を用いて詳細に検査を行えば、短時間でマスクの汚染を検査できる。検査用メンブレン4でマスク使用時のハンドリング前後での異物の増加あるいは移動をモニターすることにより、露光用のメンブレン2において露光に影響を及ぼすような異物の有無を推定できる。

## 【0075】

## (実施形態8)

本実施形態は、マスク上の汚染物質堆積による線幅の変動をモニターする方法に関する。低加速電子リソグラフィ用のステンシルマスクにはペリクルのような保護膜を設けることができないため、露光の際、マスクに電子線が照射されると、露光装置内で発生するガスにより、徐々に汚染物質がマスクに堆積する。

## 【0076】

このような汚染物質がマスクパターン側壁に堆積すると、パターン線幅が細くなったり、パターンエッジラフネスが悪化したりする。したがって、パターンの転写に影響が生じる。また、パターンから離れた箇所に堆積した汚染物質は、マスクパターンの線幅には直接影響しないが、露光時のチャージアップの原因となり、転写されるパターンの線幅を変動させる。以上のことから、マスク上の堆積汚染物をモニターし、露光への影響を見積もることは重要である。

## 【0077】

そこで、図1に示すステンシルマスクの検査用メンブレン4に、線幅や間隔の異なるラインアンドスペースパターンを形成しておく。マスクへの汚染物質の堆積は、検査用メンブレン4のパターンの線幅をSEM観察により直接測定しても、あるいは、検査用メンブレン4のパターンを露光によりウェハー上に転写して、転写された線幅を測定しても、いずれでもよい。但し、露光されたパターンの線幅を測定する場合は、検査用メンブレン4のパターンを、デバイスの電気特性に影響を与えない箇所に露光する。

## 【0078】

上記のようにマスクの汚染をモニターすることにより、マスクの洗浄あるいは廃棄のタイミングを見極めることができる。また、マスクの洗浄前後に同様の方法でマスクの汚染状況をモニターすれば、洗浄の効果もモニターできる。

## 【0079】

本発明のマスクおよびその検査方法の実施形態は、上記の説明に限定されない。例えば、上記の説明ではステンシルマスクの例を示したが、散乱メンブレンマスクにも露光に用いられない領域に、同様に検査用メンブレンを設け、各検査を行うことができる。

## 【0080】

また、本発明のマスクおよびその検査方法は、電子ビームリソグラフィ用のステンシルマスクに限らず、イオンビームリソグラフィやイオン注入等、他のプロセスに使用されるステンシルマスクにも適用できる。その他、本発明の要旨を逸脱しない範囲で、種々の変更が可能である。

## 【0081】

## 【発明の効果】

本発明のマスクおよびその検査方法によれば、検査用マスクを作製せずに破壊的検査を行うことや、非破壊検査をより正確に行うことが可能となる。

## 【図面の簡単な説明】

## 【図1】

図1は本発明のマスクの平面図である。

## 【図2】

図2は本発明のマスクの検査方法に用いるメンブレンの内部応力測定装置の概略図である。

## 【図3】

図3は本発明のマスクの検査用メンブレンに形成されるパターンの例を示す。

## 【図4】

図4はマスクの断面形状を示す斜視図である。

## 【図5】

図5（a）はパターンの設計データの例を示し、図5（b）は図5（a）の設計データから実際に得られるパターンの例を示す。

【図6】

図6は本発明のマスクの検査用メンブレンに形成されるパターンの一例であり、集束イオンビームの光軸調整に用いることができるパターンを示す。

【図7】

図7（a）～（c）はステンシルマスクの製造方法の製造工程を示す断面図である。

【図8】

図8（d）～（f）はステンシルマスクの製造方法の製造工程を示す断面図であり、図7（c）に続く工程を示す。

【図9】

図9（a）～（c）は散乱メンブレンマスクの製造方法の製造工程を示す断面図である。

【図10】

図10（d）～（f）は散乱メンブレンマスクの製造方法の製造工程を示す断面図であり、図9（c）に続く工程を示す。

【図11】

図11は従来のマスクの平面図である。

【符号の説明】

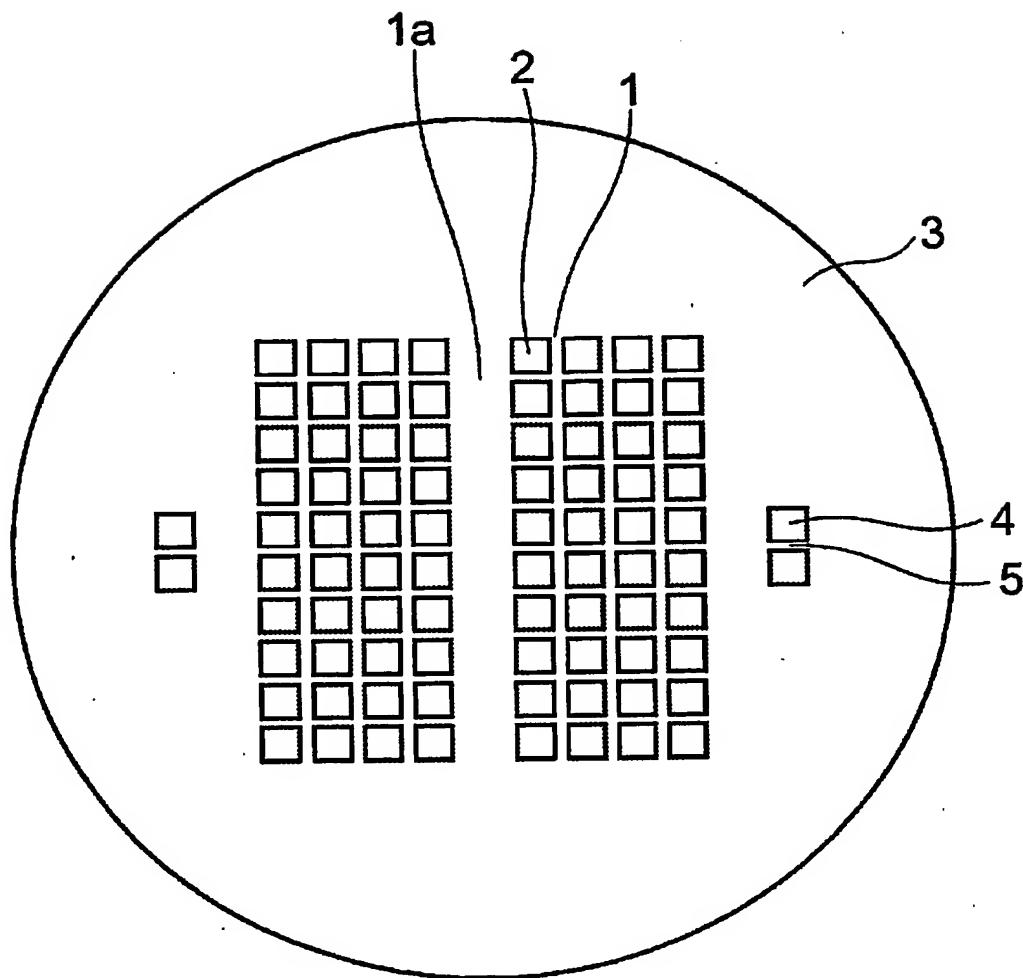
1、1a…梁、2…メンブレン、3…シリコンウェハー、4…検査用メンブレン、5…梁、6…ラインアンドスペースパターン、11…マスク、12…試料ホルダ、13…真空ポンプ、14…圧力センサ、15…バルブ、16…メンブレン、17…光学ガラス、18…He-Neレーザ、19…シングルモード光ファイバ、20…顕微鏡、21…ハーフミラー、22…CCDカメラ、23…TVモニタ、24…コンピュータ、25…X-Yモニタ、101…SOIウェハー、102…シリコン酸化膜、103…シリコンウェハー、104…シリコン酸化膜、105…シリコン層、106…メンブレン、107、107a…梁、108…レジスト、109…孔、110…ステンシルマスク、111…シリコンウェハー、1

12a、112b…シリコン窒化膜、113…クロム層、114…タンゲステン層、115…レジスト、116…梁、117…メンブレン、118…散乱メンブレンマスク。

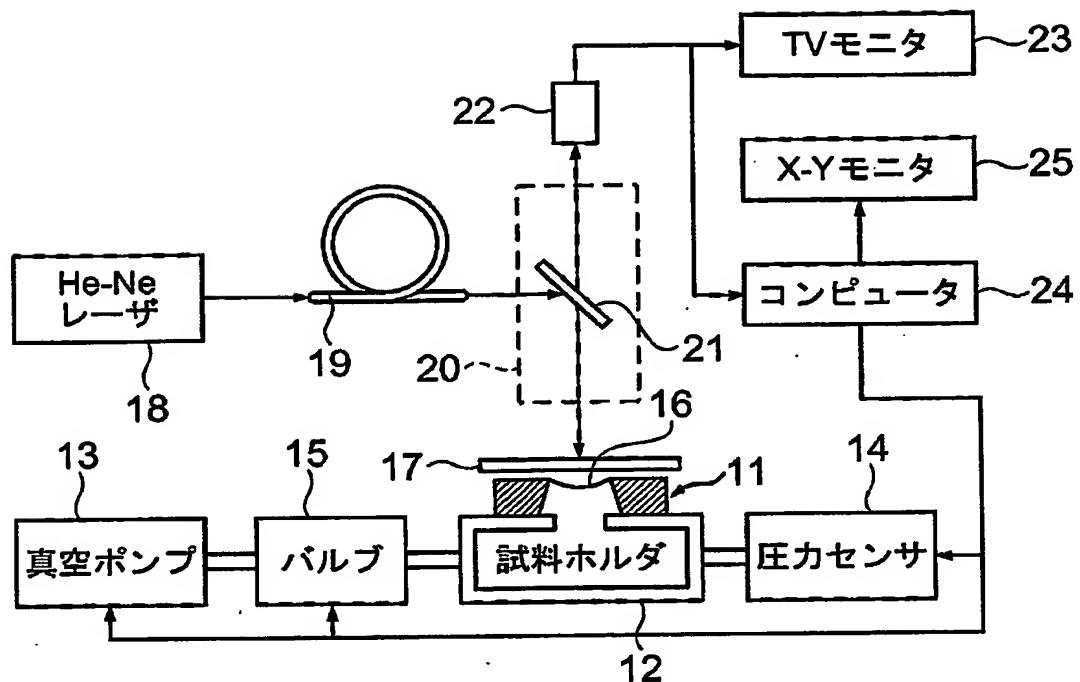
【書類名】

図面

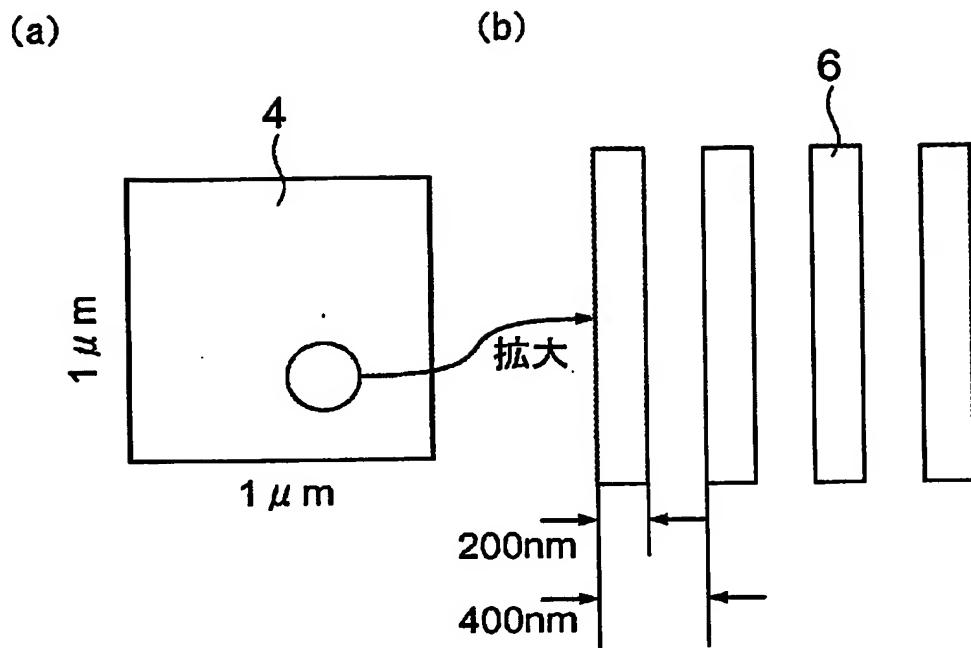
【図1】



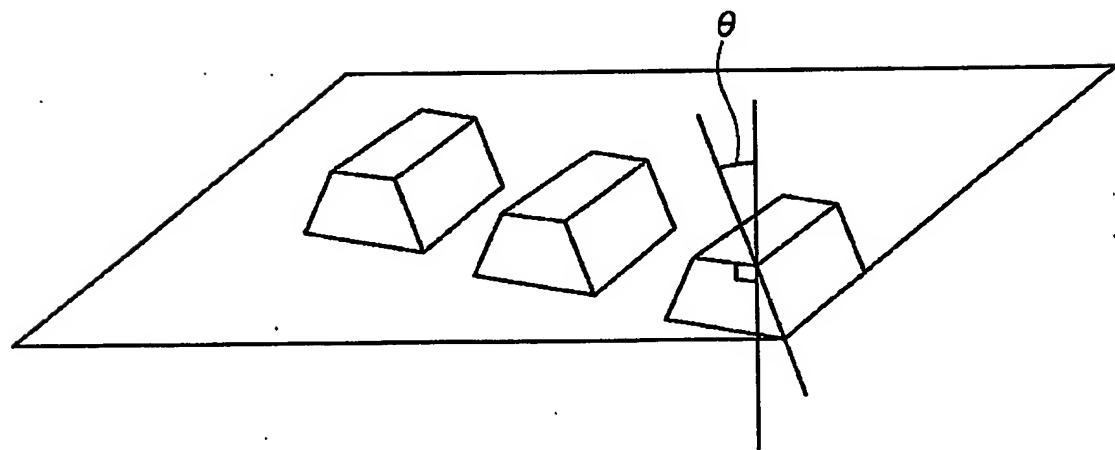
【図2】



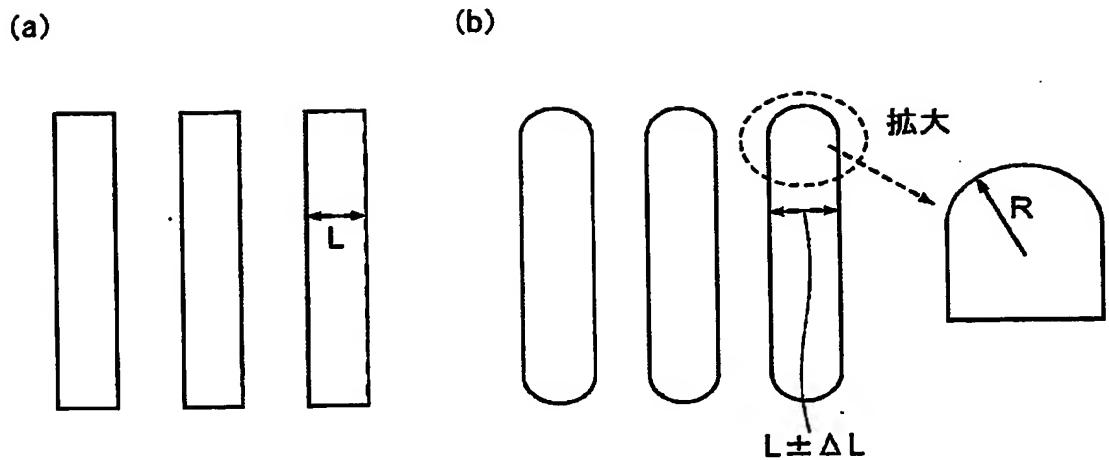
【図3】



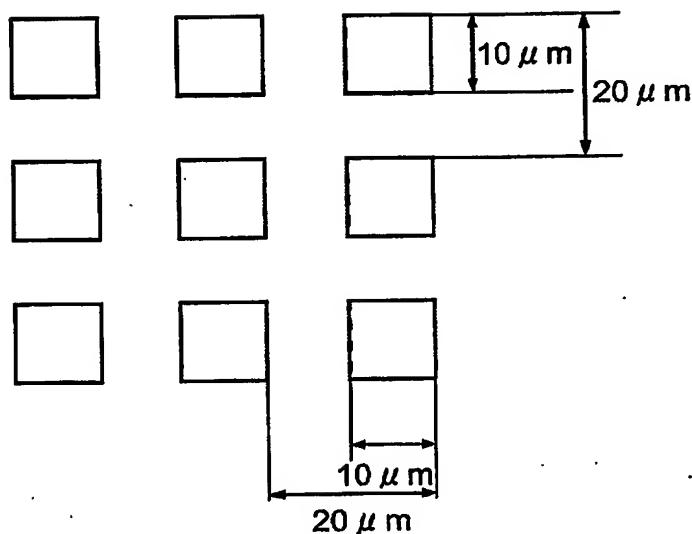
【図4】



【図5】

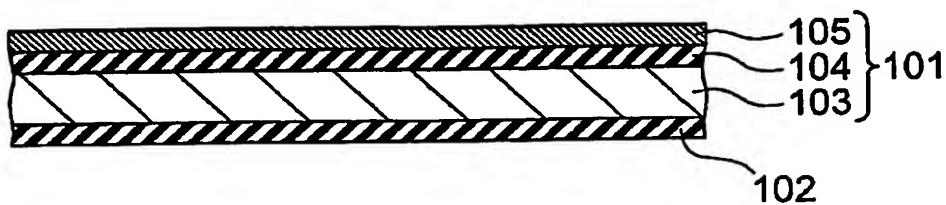


【図6】

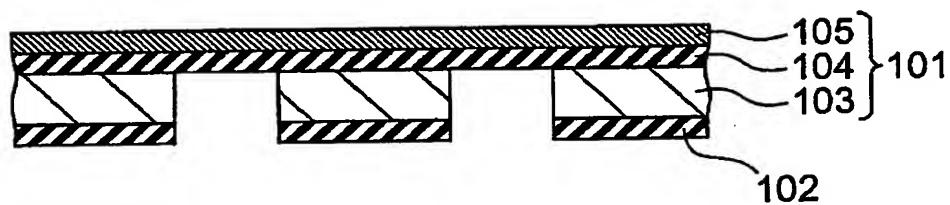


【図7】

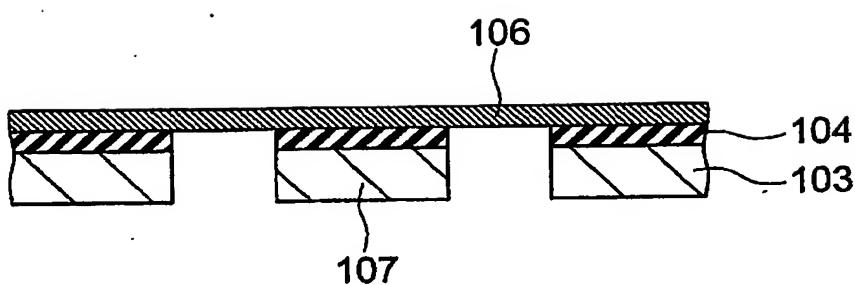
(a)



(b)

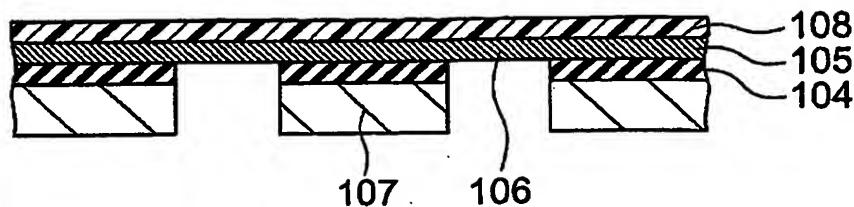


(c)

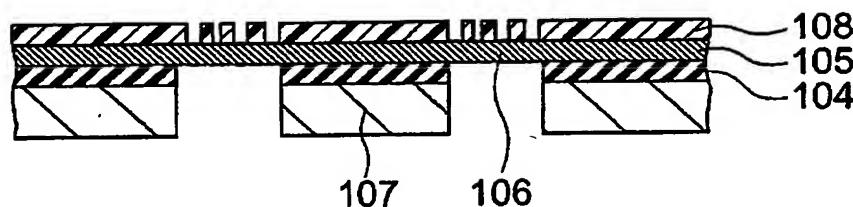


【図8】

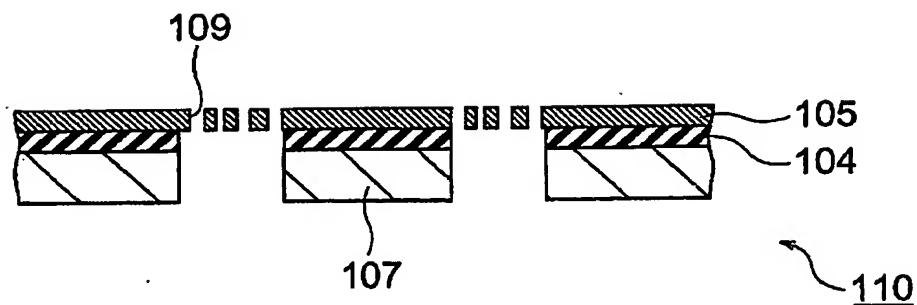
(d)



(e)

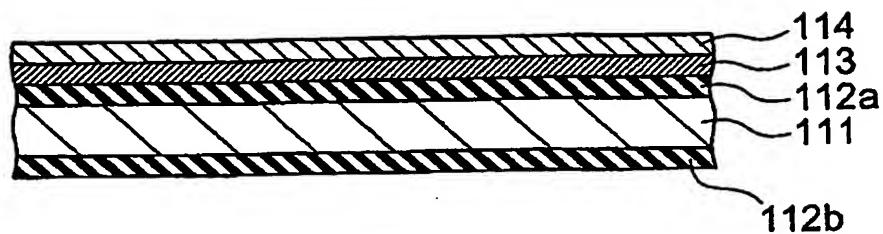


(f)

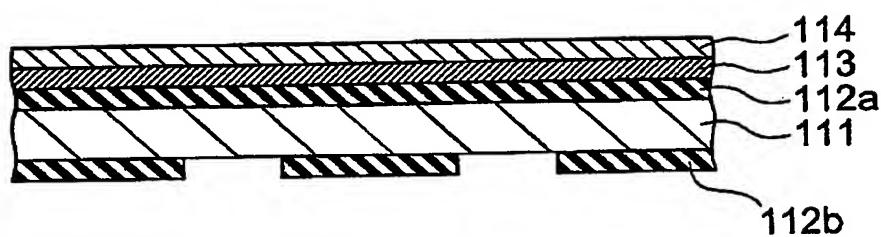


【図9】

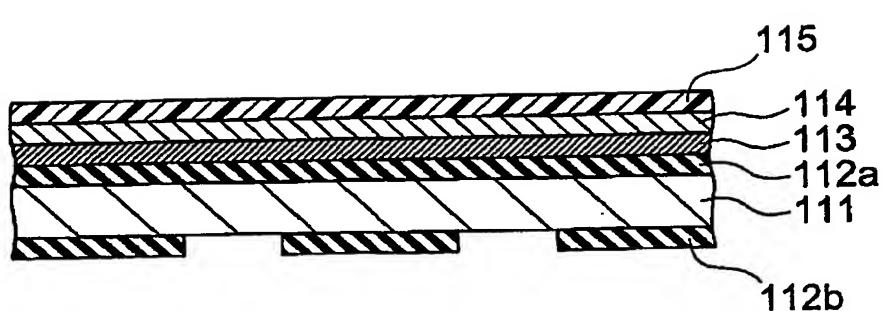
(a)



(b)

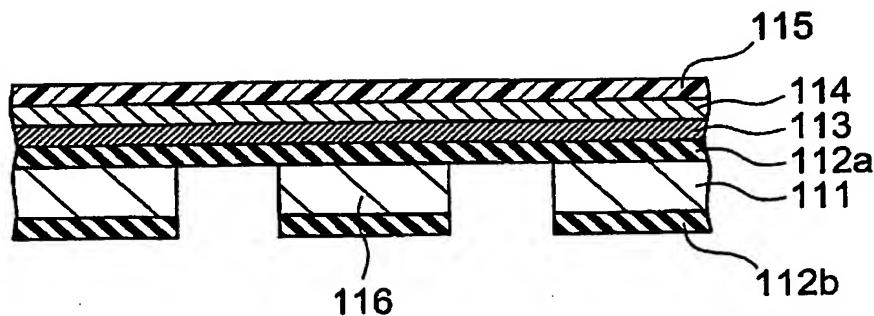


(c)

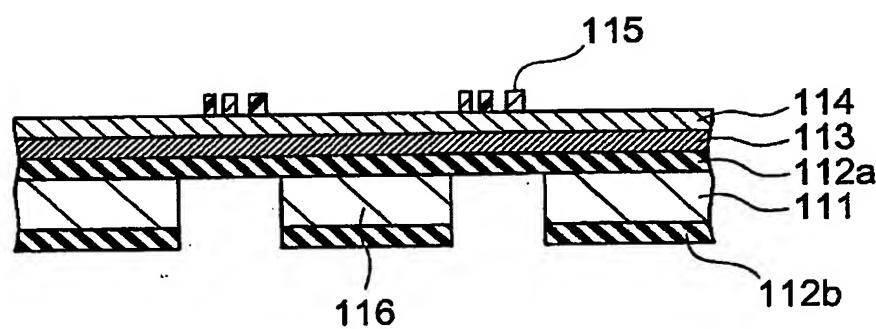


【図10】

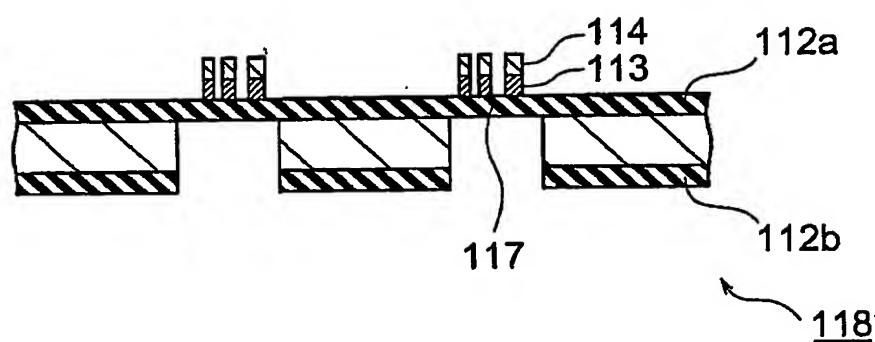
(d)



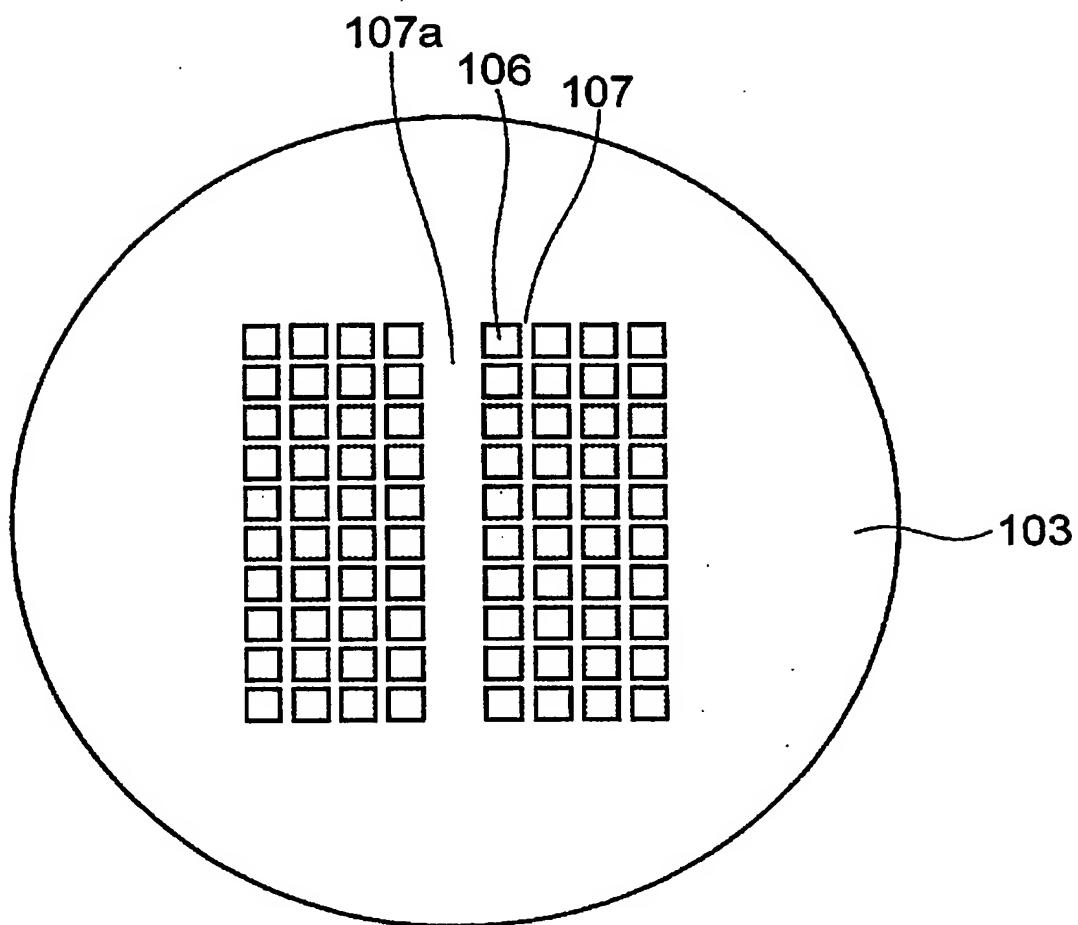
(e)



(f)



【図11】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 検査用マスクを作製せずに破壊的検査を行うことや、非破壊検査をより正確に行うことが可能となるマスクおよびその検査方法を提供する。

【解決手段】 荷電粒子線の透過部と非透過部を有する露光用薄膜2と、露光用薄膜の周囲に形成された、薄膜を支持する厚膜部分3と、荷電粒子線の透過部と非透過部を有し、厚膜部分に形成された、露光用薄膜と厚さおよび材質が等しい検査用薄膜4とを有するマスク、および検査用薄膜を用いて検査を行うマスクの検査方法。

【選択図】 図1

出願人履歴情報

識別番号 [000002185]

1. 変更年月日 1990年 8月30日

[変更理由] 新規登録

住 所 東京都品川区北品川6丁目7番35号

氏 名 ソニー株式会社